

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**

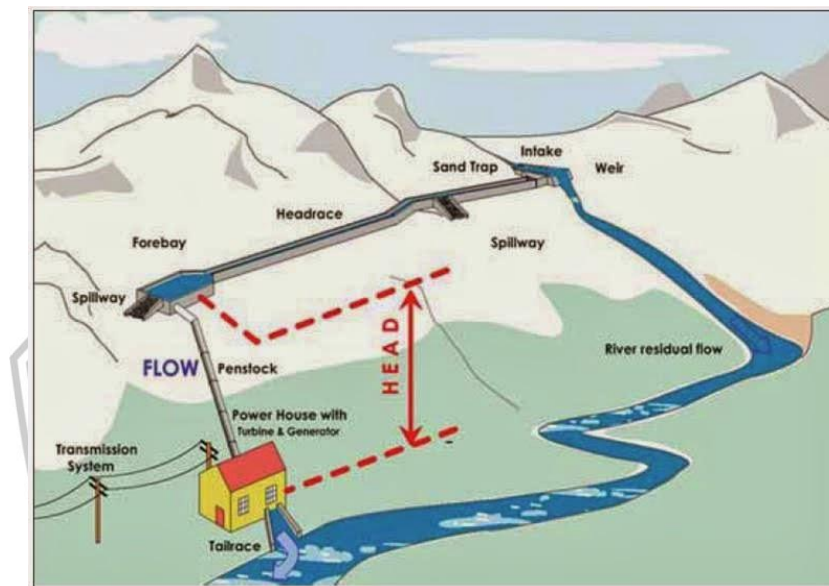
Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah pembangkit tenaga listrik dengan skala kecil (kurang dari 200 KW) yang menggunakan air sebagai media untuk mengubah tenaga aliran air menjadi tenaga kinetik. Tenaga kinetik ini bisa digunakan untuk membangkitkan energi listrik dengan meneruskan gerakan dari poros ke generator. Pengembangan Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan alternatif untuk penyediaan energi listrik di Indonesia (Agus Santoso, 2011).

#### **2.2 Prinsip kerja PLTMH**

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah dengan mengalirkan air dari waduk atau sugai menuju bak penampung. Dari bak penampung kemudian air dialirkan ke turbin melalui pipa pesat (pestock).

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air masuk ke dalam turbin. Di dalam pipa, energi potensial air dari kolam penampung dirubah menjadi energi kinetik yang nantinya akan memutar roda turbin. Pipa pesat pada umumnya dibuat dari pipa baja yang di rol, kemudian dilas. Setelah air keluar dari pipa pesat kemudian masuk turbin. Di bagian depan turbin terdapat guide vane yang berguna untuk mengatur buka tutup turbin dan mengatur debit air yang masuk runner. Air akan

dialirkan masuk ke dalam turbin melalui sudu-sudu *runner* yang kemudian memutar poros turbin. Bahan runner terbuat dari aluminium dengan kekuatan tarik tinggi yang tahan korosi. Aliran air yang masuk akan memutar runner kemudian menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Putaran poros ini diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Seluruh sistem ini harus seimbang.



Gambar 2.1. Skema Prinsip PLTMH  
(Sumber : Klaus Jorde, 2009)

### 2.3. Sistem PLTMH

Komponen-komponen yang ada di Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, antara lain:

a) Bendungan



Gambar 2.2 Bendungan

(Sumber : Kementerian PUPR, 2017)

Bendungan berfungsi untuk membendung aliran air sungai atau waduk untuk dialirkan menuju bak pengendap.

b) Bak Pengendap



Gambar 2.3 Bak Penampung Air

(Sumber : Andrea Satriandra, 2018)

Bak penampung air digunakan untuk mengendapkan pasir dan lumpur dari air. Bak penampung air dibuat terpisah dari sungai atau waduk dengan beberapa komponen tambahan, seperti saluran penguras dan pintu pengurasnya.

c) Pipa Pesat



Gambar 2.4 Pipa Pesat

(Sumber : Khoirul Muzaki, 2018)

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air dari bak penampung ke turbin. Di dalamnya terjadi perubahan energi dari energi potensial menjadi energi kinetik. Air di dalam pipa pesat tersebut kemudian digunakan untuk memutar runner.

d) Rumah Pembangkit

Komponen lain seperti generator dan turbin air dipasang di dalam rumah pembangkit agar terhindar dari air hujan dan panas serta mempermudah dalam. Turbin berfungsi mengubah energi air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros diteruskan ke generator (Agus Santoso, 2011).





Gambar 2.5 Rumah Pembangkit

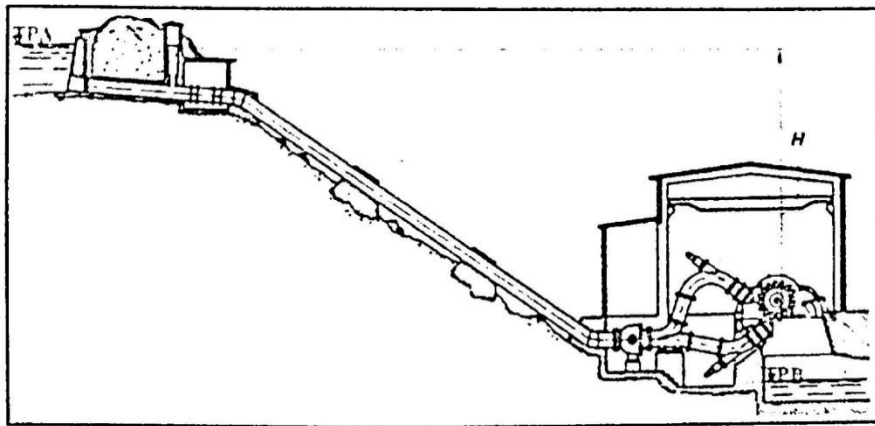
(Sumber : PLTA Ngebel, 2019)

## 2.4. Fluida kerja

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara terus-menerus mengikuti tempatnya. Fluida kerja yang digunakan pada perancangan turbin ini adalah air bersih yang di salurkan dari bak penampung. Air bersih dapat memperlambat kerusakan pada komponen turbin di bandingkan dengan air kotor (sampah dan sejenisnya) atau air keruh.

## 2.5 Tinggi Jatuh Air (Head)

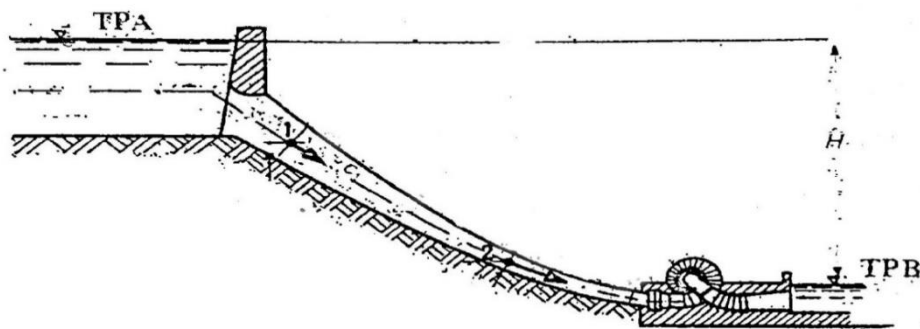
Tinggi jatuh air pada pembangkit listrik ada dua jenis yaitu: tinggi jatuh air aktual dan tinggi jatuh air efektif. Untuk jenis turbin air tekanan sama tinggi air jatuh aktualnya dihitung dari permukaan air di kolam penampung sampai ke tengah-tengah pancaran air dari nozzle. Sedangkan untuk jenis air tekanan lebih tinggi jatuh air aktual dihitung dari permukaan air di kolam penampung sampai ke permukaan air bawah. Dari data yang didapat head / tinggi jatuh air pada waduk Widas adalah 22 meter.



Gambar 2.6 Tinggi Jatuh Air Aktual untuk turbin tekanan sama

TPA (Tinggi Permukaan Air Atas), TPB (Tinggi Permukaan Air Bawah)

(Sumber : Fritz Dietzel, 1988)



Gambar 2.7 Tinggi Jatuh Air Aktual untuk turbin tekanan lebih

(Sumber : Fritz Dietzel, 1988)

Tinggi jatuh air efektif merupakan tinggi jatuh air aktual dikurangi total kerugian energi (head loses) di sepanjang saluran, dapat dinyatakan dengan persamaan

$$He = Ha - \Sigma Hl$$

Dimana :  $H_e$  = Tinggi jatuh efektif (m)

$H_a$  = Tinggi jatuh aktual (m)

$H_l$  = Head loses (m)

Kerugian energi di dalam pipa dapat dikelompokkan atas 2 bagian :

- a) Kerugian akibat gesekan air di sepanjang pipa disebut head loses mayor, menurut strickler kerugian ini bisa dihitung dalam persamaan

$$H_{lf} = 10,249 \frac{Q^2}{k^2} \frac{L}{D^{5,33}}$$

Tabel 2.1 Angka Gesek Strickler

Macam bahan	Angka Gesek, k							
Pipa Pesat	70	80	90	100	110	120	130	140
Beton								
Baja bersambungan keling								
Besi tuang dilapisi tir								
Baja bersambungan las								
Asbes semen								
Plastik								

(Sumber : Suryono, 1991)

Dimana :  $H_{lf}$  = Head loses mayor (m)

$Q$  = Debit air ( $m^3/s$ )

$k$  = Angka gesek Strickler

$D$  = Diameter pipa (m)

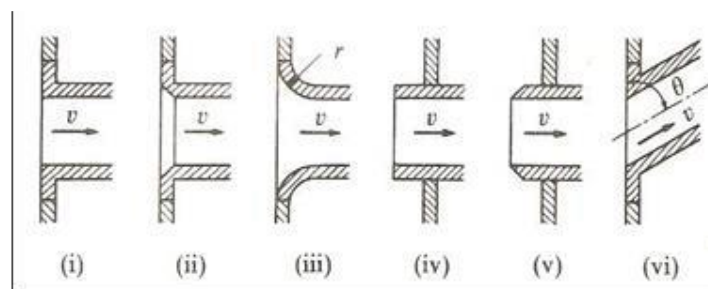
- b) Kerugian yang terjadi di awal pipa, perubahan penampang dan belokan disebut head losses minor. Kerugian ini dinyatakan dengan persamaan

$$H_{lm} = \sum f \frac{V^2}{2g}$$

Dimana :  $H_{lm}$  = Head losses minor (m)

$V$  = Kecepatan air di dalam pipa ( $m^2/s$ )

$\sum f$  = Total koefisien kerugian



Gambar 2.8 Koefisien kerugian ujung masuk pipa

(Sumber : Sularso, 1987)

(i)  $f = 0.5$

(ii)  $f = 0.25$

(iii)  $f = 0.06$  (untuk  $r$  kecil) sampai  $0.005$  (untuk  $r$  besar)

(iv)  $f = 0.56$

(v)  $f = 3.0$  (untuk sudut tajam) sampai  $1.3$  (untuk sudut  $45^\circ$ )

(vi)  $f = f_1 + 0.3 \cos \theta + 0.2 \cos^2 \theta$

## 2.6 Debit Air

Debit air adalah hal utama dalam perancangan turbin air, karena daya yang dihasilkan oleh turbin bergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir pada pipa bertekanan dapat dinyatakan dengan persamaan :



$$Q = V \cdot A$$

Dimana  $Q$  = Debit Air (m<sup>3</sup>/s)

$V$  = Kecepatan aliran air (m/s)

$A$  = Luas panjang pipa (m<sup>2</sup>)

(Suryono, 1991)

## 2.7 Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik adalah jumlah putaran roda turbin dimana dapat menghasilkan daya 1 hp untuk setiap jatuh air 1 ft. (Wiranto, 1997)

Persamaan kecepatan spesifik dapat dirumuskan sebagai :

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

Dimana :  $Q$  = Debit air yang dibutuhkan (m<sup>3</sup>/s)

$H$  = Tinggi jatuh (m/s)

$n$  = Kecepatan putaran turbin (putaran/menit)

(Suryono, 1991)

Harga putaran turbin ( $n_1$ ) biasanya berkisar antara 125-750 rpm (Wiranto, 1997)

## 2.8 Pipa Pesat

Pipa pesat adalah pipa yang digunakan untuk mengalirkan air dari kolam penampung ke turbin. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dari pipa pesat, antara lain :

## a) Panjang Pipa

Panjang pipa bergantung pada sudut kemiringan pipa pesat dan ketinggian air jatuh. Setelah harga ini didapat, panjang pipa pesat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pythagoras

## b) Kecepatan rata-rata air dalam pipa

$$V = \left( \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} \right)$$

## c) Luas Penampang Pipa

$$A = \frac{Q}{V}$$

## d) Diameter Pipa

$$D = 1,12 \cdot \frac{Q^{0,45}}{H^{0,12}}$$

## e) Koefisien kehilangan tinggi tekan pipa

Perhitungan besaran kehilangan tinggi tekan pada pipa menggunakan persamaan : (Linsley, 1985)

$$H = K \frac{V^2}{2g}$$

## f) Tebal Pipa

Perhitungan tebal pipa pesat dapat menggunakan persamaan dari (*U.S Bureau of Reclamation*)

$$Tp = \frac{D + 20}{400}$$

Tabel 2.2 Koefisien kehilangan tinggi tekan akibat belokan

Jari-jari belokan garis tengah	Sudut Belokan		
	90°	45°	22,45°
1	0,5	0,37	0,25
2	0,3	0,22	0,15
4	0,25	0,19	0,12
6	0,15	0,11	0,08
8	0,15	0,11	0,08

(Sumber : Linsley, 1985)

## 2.9 Turbin Air

Turbin air adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang rendah. Dalam hal ini air memiliki energi potensial. Dalam proses air mengalir di dalam pipa energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air dirubah menjadi energi mekanis, dimana turbin diputar oleh air (Wiranto, 1982).

### 2.9.1 Turbin propeller poros horizontal

Turbin jenis ini adalah turbin propeller generasi pertama. Kerena sudu tidak dapat di atur, maka efesiensi berkurang bila digunakan pada debit air yang besar. Maka dari itu dikembangkan jenis dengan sudu yang dapat di atur agar efisiensi turbin tinggi walaupun kisaran debitnya besar (Suwignyo, 2012).



Gambar 2.9 Turbin Propeller sudu tetap

(Sumber : Siapro Hydro, 2017)

## 2.10 Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin yang akan dirancang tergantung dari besarnya debit air ( $Q$ ) dan tinggi head yang ada, besarnya harga dari debit dan head ini didapat dari hasil survey ke waduk Widas. Secara teori dalam pemilihan jenis turbin ditentukan berdasarkan kecepatan spesifik dan tinggi jatuh air efektif ( $H_e$ ).

### 2.10.1 Pemilihan berdasarkan tinggi jatuh air

Pemilihan dengan mengacu tinggi jatuh air yang diperoleh, maka dapat dilihat pada table berikut :

Turbin yang dirancang adalah turbin air tipe propeller poros horizontal karena mengacu pada tinggi air jatuh yang didapat yaitu 22 meter. Sesuai table di

atas jenis yang sesuai adalah turbin Kaplan dan Francis (lebih cocok Kaplan), maka digunakan turbin propeller.

Tabel 2.3 Pemilihan jenis turbin berdasarkan tinggi jatuh air

No	Tinggi Jatuh Air (m)	Jenis Turbin
1	0 – 25	Kaplan / Francis (Disarankan Kaplan)
2	25 – 5	Kaplan / Francis (Disarankan francis)
3	50 – 150	Francis
4	150 – 250	Francis / Pelton (Disarankan francis)
5	250 – 300	Francis / pelton (Disarankan pelton)
6	Di atas 300	Pelton

(Sumber : R.S Khurmi, 1982)

## 2.11 Perencanaan Turbin

Dalam merencanakan perancangan turbin air, ada hal yang perlu diperhatikan, sehingga selanjutnya dapat dilakukan perencanaan konstruksi turbin air.

### 2.11.1 Daya Turbin

Jika dilihat dari kapasitas dan tinggi jatuh air, daya turbin yang direncanakan dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \rho \times g \times Q \times H_e \times \eta^t$$

Dimana :  $P$  = Daya turbin (W)

$\rho$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$Q$  = Debit aliran air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\eta_t$  = Efisiensi turbin. Untuk turbin air berkisar antara 84%-94%

(Wiranto, 1997)

### 2.11.2 Sudu Turbin

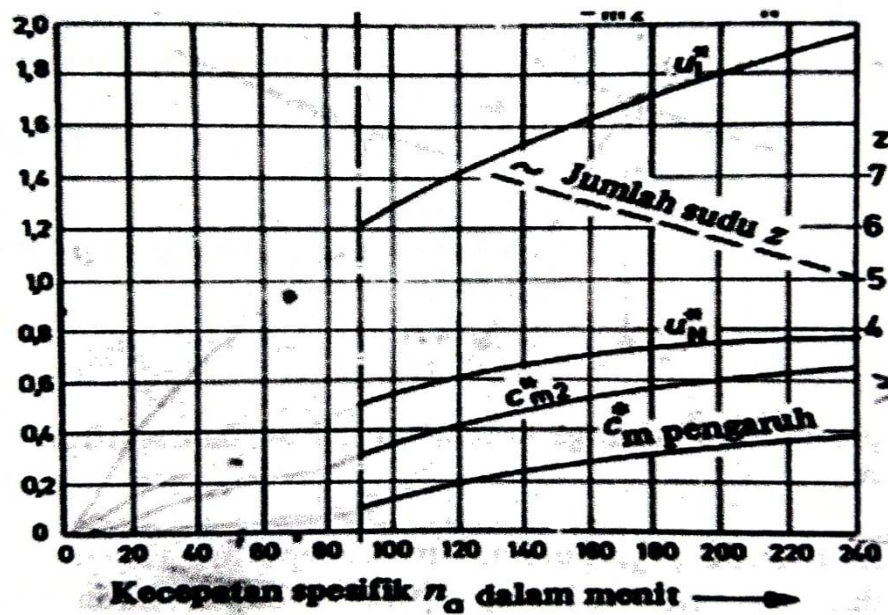
Dalam perancangan sebuah turbin propeller jumlah sudu adalah satu hal yang sangat mempengaruhi. Untuk itu sebelum memulai maka harus didapat jumlah sudu yang dibutuhkan. Jumlah sudu dapat diketahui dengan cara mengacu pada tinggi air jatuh di lapangan (head)

Tabel 2.4 Jumlah Sudu

Head (m)	5	20	40	50	60	70
$\frac{D_b}{D}$	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7
Jumlah Sudu	3	4	5	6	8	10

(Sumber : R.S Kharmi, 1976)





Gambar 2.10 Harga perkiraan untuk menentukan ukuran utama turbin

(Sumber, Fritz Dietzel, 1988)

Berdasarkan data tinggi jatuh air (H) di lapangan dan mengacu pada literatur dan teori yang dipakai maka dapat ditentukan jumlah sudu turbin. Berdasarkan table diatas, maka didapat jumlah sudu yang dapat dipakai pada tinggi jatuh air 22 meter, yaitu sudu sebanyak 4 buah. Maka bagian bagian turbin dapat di tentukan dengan beberapa persamaan yang dikemukakan oleh (Fritz Dietzel, 1988) yaitu:

- a) Diameter Luar sudu turbin

$$D_1 = \frac{60 \times U_1}{\pi \times N}$$

- b) Diameter hub/ leher poros

$$DN = 0,5 \times D_1$$

- c) Diameter tengah sudu

$$D_M = \frac{D_1 + DN}{2}$$

d) Jumlah keseluruhan lebar sudu

$$B = \frac{D_1 - D_N}{2}$$

e) Luas penampang sudu

$$A = (D_1^2 - D_N^2) \times \frac{\pi}{4}$$

f) Jarak antar sudu

$$t = \frac{D_M \times \pi}{Z}$$

Z = Jumlah sudu

g) Diameter sudu pengarah

$$D_0 = 1,2 \times D_1$$

h) Tinggi sudu pengarah

$$b_o = \frac{Q}{D_0 \times \pi \times C_m \times \text{pengarah} \times \tau_0}$$

i) Segitiga kecepatan

$$\eta T = \frac{P}{H \times Q \times \rho \times g}$$

Dengan  $C_{u2} = 0$ , karena  $C_2$  adalah pengeluaran tegak lurus, maka :

$$(C_u) = \frac{\eta T \times g \times H}{(u_1 + u_N)/2}$$

Dengan U rata-rata =  $(u_1 + u_N)/2$

j) Gaya geser aksial

$$S = \left(\frac{\rho}{2}\right) \times (W_2^2 - W_1^2) \times D_M \times \pi \times B$$

## 2.12 Poros Turbin

Poros turbin berfungsi untuk meneruskan daya dari putaran turbin. Beban yang diterima oleh poros turbin adalah beban puntir dan beban lentur, dengan adanya beban ini maka terjadi tegangan puntir dan tegangan lentur akibat dari adanya momen puntir dan momen lentur (Sularso, 1994).

Untuk melakukan perencanaan poros maka dilakukan beberapa tahapan perhitungan sebagai berikut :

$P$  = Daya yang akan diteruskan (kW)

$n_1$  = Putaran poros (rpm)

$f_c$  =Faktor koreksi

$P_d$  = Daya rencana (kW)

$$P_d = f_c \times P$$

$T$  = Momen punter rencana (kg mm)

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n_1}$$

$\sigma_B$  = Kekuatan Tarik

Faktor keamanan untuk  $Sf_1 = 5,6$  untuk bahan SF dengan kekuatan yang diijinkan, dan 6,0 untuk bahan S-C dengan pengaruh massa, dan baja campuran.

Untuk  $Sf_2$  harga yang dinyatakan sebesar 1,3 sampai 3,0

$\tau_a$  = Tegangan geser yang diijinkan (kg/mm<sup>2</sup>)

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(Sf_1 \times Sf_2)}$$

Jika diperkirakan terjadi beban lentur maka dapat diperhatikan pemakaian faktor  $C_b$  yang nilainya antara 1,2 sampai 2,3 ( Jika perkiraan tidak terjadi maka  $C_b$  diambil 1,0 )

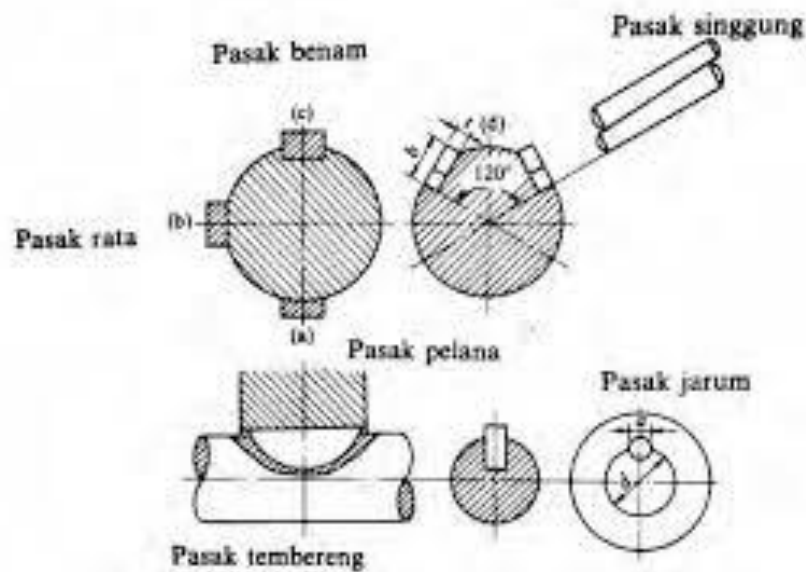
$d_s$  = diameter poros

$$d_s = \left( \frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times T \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Sularso, 1978})$$

### 2.13 Pasak

Pasak adalah salah satu elemen mesin yang digunakan untuk mengunci bagian mesin yang menempel ke poros seperti roda gigi, sprocket, puli, kopling dan lain-lain. Momen diteruskan dari poros ke naf atau dari naf ke poros. Sementara pasak yang ada pada poros turbin ddigunakan untuk menetapkan runner pada poros.

Beberapa jenis pasak dapat dilihat pada gambar 2.10. menurut letaknya pada bisa dibedakan antara pasak benam, pasak pelana, pasak rata, dan pasak singgung, yang berpenampang segi empat. Disamping macam di atas ada pula pasak tembereng dan pasak jarum (sularso, 1978).



Gambar 2.10 Macam-macam pasak

. (Sumber : Sularso, 1987)

Pasak yang dipakai pada perancangan ini menggunakan pasak penam, karna dapat meneruskan momen yang besar.

## 2.14 Bantalan

Bantalan merupakan elemen mesin yang fungsinya menumpu poros, sehingga putaran poros dapat berjalan secara halus, aman dan awet. Bantalan harus dipastikan kuat untuk menumpu beban poros dan elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi sebagai mana mestinya maka seluruh sistem tidak dapat bekerja secara normal (Sularso, 1987).

Bantalan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros bantalan dibagi menjadi 2 yaitu:

a. Bantalan luncur

Pada bantalan luncur ini gesekan terjadi antara bantalan dan permukaan poros yang ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas.

b. Bantalan gelinding

Jenis bantalan ini gesekan terjadi antara bagian yang diam dengan bagian yang berputar melalui perantara elemen gelinding seperti rol atau rol jarum, rol bulat dan bola.

2. Berdasarkan arah beban terhadap poros

a. Bantalan radial

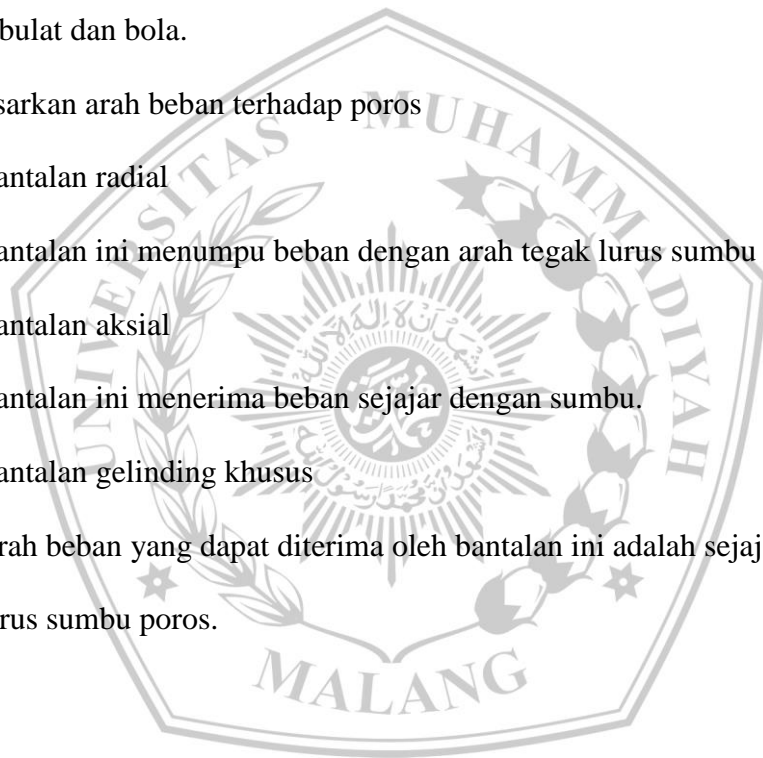
Bantalan ini menumpu beban dengan arah tegak lurus sumbu poros

b. Bantalan aksial

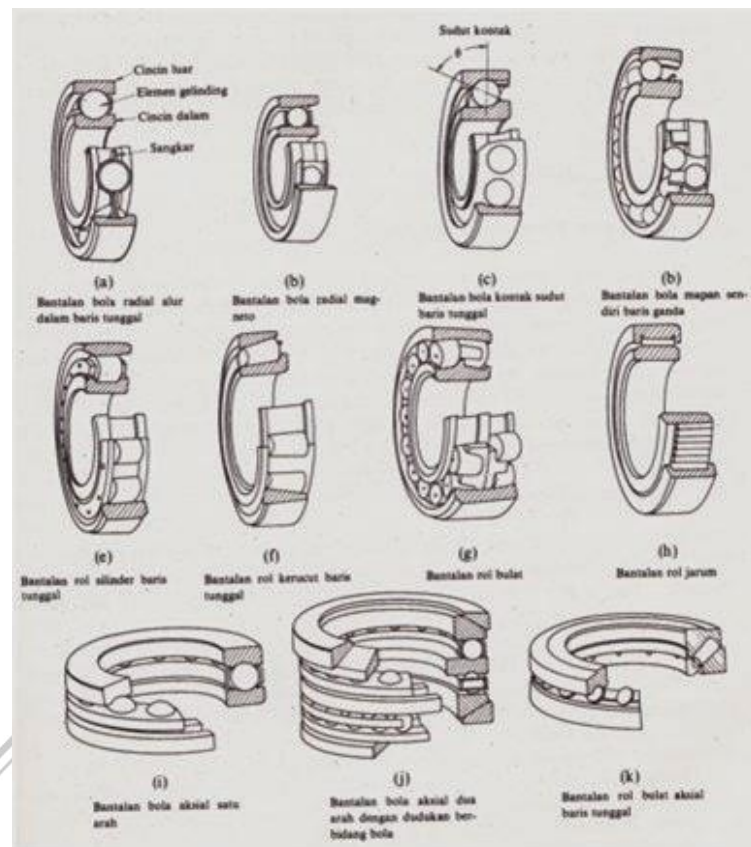
Bantalan ini menerima beban sejajar dengan sumbu.

c. Bantalan gelinding khusus

Arah beban yang dapat diterima oleh bantalan ini adalah sejajar dan tegak lurus sumbu poros.







Gambar 2.12 Macam-macam bantalan gelinding

(Sumber : Sularso, 1987)